

AKTIVITAS DAN KONSEKUENSI DISPERSI RADIOAKTIF UNTUK DAERAH KOTA DAN PEDESAAN

Pande Made Udiyani, Sri Kuntjoro, Jupiter Sitorus Pane

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir-BATAN

Puspipstek Gd-80, Telp.: +62-21-7560912, E-mail: pmade-u@batan.go.id

Diterima	Diterima dalam bentuk revisi	Disetujui
03 Agustus 2015	16 Oktober 2015	02 Nopember 2015

ABSTRAK

AKTIVITAS DAN KONSEKUENSI DISPERSI RADIOAKTIF UNTUK DAERAH KOTA DAN PEDESAAN. Konsekuensi karena lepasan kontaminan radioaktif oleh manusia dipengaruhi oleh banyak faktor seperti besarnya aktivitas kontaminan yang tersebar dan kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan meliputi kondisi meteorologi, kontur tapak, dan pathway kontaminan ke manusia. Tujuan penelitian ini adalah analisis aktivitas dan konsekuensi radionuklida waktu paruh panjang akibat kecelakaan di daerah perkotaan dan pedesaan. Tujuan khusus adalah menghitung aktivitas dispersi udara dan deposisi permukaan, prediksi laju dosis dan risiko yang ditimbulkan untuk daerah perkotaan dan pedesaan sebagai fungsi lokasi. Metode yang digunakan adalah simulasi estimasi konsekuensi dari dispersi produk fisi di atmosfer akibat kecelakaan terpostulasi Beyond Design Basis Accident, BDBA. Perhitungan dilakukan untuk lepasan radioaktif akibat kecelakaan PWR 1000 MWe yang disimulasikan untuk area pedesaan dan perkotaan Tapak Bojanegara-Serang. Hasil analisis aktivitas dispersi udara dan deposisi permukaan untuk area pedesaan (rural) lebih tinggi dibandingkan areal perkotaan (urban). Penerimaan dosis untuk area pedesaan lebih tinggi dibandingkan dengan penerimaan dosis area perkotaan. Dosis individu efektif maksimum untuk area pedesaan (rural) adalah $9,24 \times 10^{-2}$ Sv dan daerah perkotaan (urban) adalah $5,14 \times 10^{-2}$ Sv. Risiko total terkena kanker untuk masyarakat yang berdomisili di area perkotaan lebih tinggi dibandingkan area pedesaan.

Kata kunci: aktivitas, konsekuensi, dispersi, perkotaan, pedesaan

ABSTRACT

THE ACTIVITIES AND RADIOACTIVE DISPERSION CONSEQUENCES FOR URBAN AND RURAL AREA. The consequences of radioactive releases of contaminants by humans is influenced by many factors such as the amount of activity that spread contaminants and environmental conditions. Environmental conditions include meteorological conditions, the contours of the site and contaminant pathways to humans. The purpose of this research is the analysis of the consequences of radionuclide activity and long half-life time due to accidents in urban and rural areas. The specific objective is to calculate the activity of the air dispersion and surface deposition, dose rate predictions and the risks posed to urban and rural areas as a function of the location. The estimates method used is simulation of the consequences on fission products dispersion in the atmosphere due to the postulated accident Beyond Design Basis Accident, BDBA. The calculation is performed for radioactive releases from accidents in 1000 MWe PWR simulated for rural and urban areas on Bojanegara-Serang site. Results of the analysis are that the activity of air dispersion and deposition surface at rural areas higher than urban areas. The Acceptance dose is higher for rural areas compared with urban areas. The maximum effective individual dose for rural areas is 9.24×10^{-2} Sv and urban areas is 5.14×10^{-2} Sv. The total risk of cancer for people who live in urban areas is higher than rural areas.

Keywords: activity, consequence, dispersion, urban, rural

1. PENDAHULUAN

Dampak kecelakaan suatu instalasi nuklir adalah terlepasnya kontaminan radioaktif ke lingkungan. Lepasn kontaminan radioaktif ke lingkungan yang mengakibatkan dampak yang meluas adalah tersebarnya kontaminan di atmosfer, dengan berbagai *pathway* akan diterima oleh manusia. Konsekuensi karena lepasn kontaminan radioaktif oleh manusia dipengaruhi oleh banyak faktor seperti besarnya aktivitas kontaminan yang tersebar dan kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan meliputi kondisi meteorologi, kontur tapak, dan *pathway* kontaminan ke manusia^[1].

Sebelum kecelakaan Chernobyl, pemikiran tentang dampak kontaminasi radioaktif hanya untuk daerah perkotaan. Sebelumnya asumsi tentang konsekuensi dari insiden nuklir yang memberikan dampak jangka pendek dan terutama terbatas pada daerah pedesaan. Namun, kecelakaan Chernobyl jelas menunjukkan bahwa kecelakaan nuklir juga dapat menyebabkan kontaminasi dan paparan radiasi jangka panjang yang signifikan di daerah perkotaan. Kontribusi dosis dari lepasn radioaktif ke permukaan tanah dan konsekuensi terhadap kehidupan dipengaruhi oleh mekanisme transpor *pathway* dari atmosfer ke penerimaan dosis. Mekanisme transpor yang berpengaruh terhadap penerimaan dosis antara lain deposisi, *run-off*, dan retensi radionuklida di permukaan. Meskipun beberapa studi telah dilakukan untuk mengidentifikasi parameter penting yang menentukan perilaku kontaminan di sebuah kompleks perkotaan atau pedesaan, masih ada kesenjangan yang signifikan dalam data dampak radiologi terhadap kehidupan dan lingkungan di pedesaan maupun perkotaan, tetapi ada ruang untuk analisis dampak jangka panjang terutama berkaitan dengan kontur tapak yang berbeda^[2,3].

Pengaruh mekanisme deposisi radionuklida di permukaan sangat dipengaruhi kondisi cuaca seperti curah hujan, *run-off* dan distribusi radionuklida dan mobilitas kontaminan ke permukaan tanah^[4,5]. Sebagai contoh sifat ekosistem tapak terutama ekosistem hutan pedesaan atau bangunan perkotaan sangat menentukan besarnya konsekuensi radiologi terhadap populasi dan lingkungan. Ekosistem hutan dipengaruhi oleh iklim, jenis tanah, topografi dan komposisi jenis pohon utama (bersama-sama dengan flora dan fauna yang terkait).

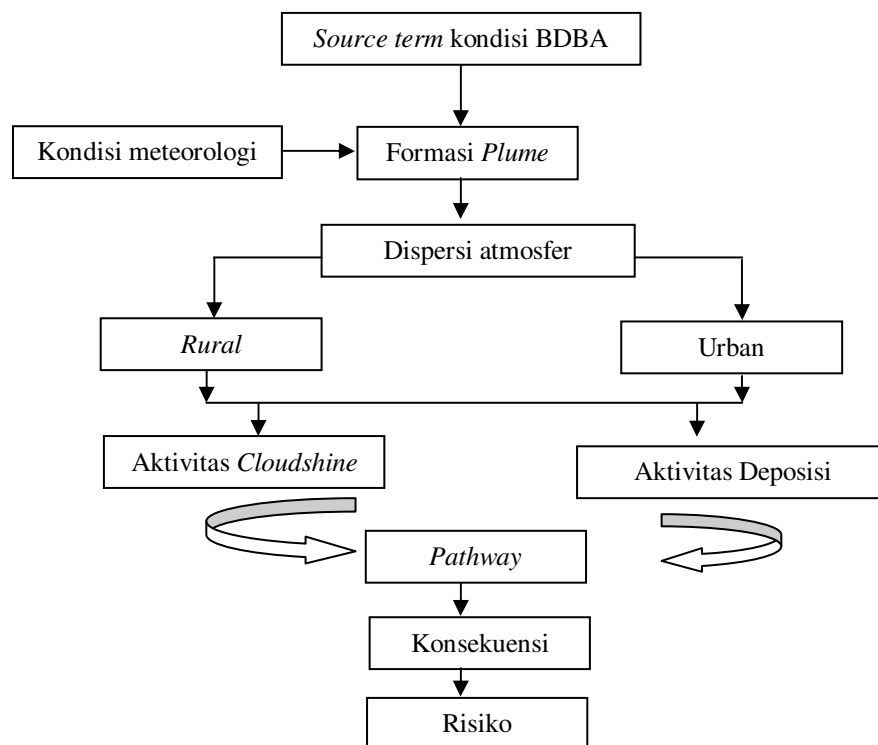
Setelah kecelakaan Fukushima, sebagai konsekuensi dari kecelakaan parah, sejumlah besar zat radioaktif dari unsur yang mudah menguap seperti radioisotop yodium (I-131, I-132, I-133), cesium (Cs-134, Cs-136, Cs-137) dan telurium (Te-132), dan gas mulia seperti xenon (Xe-133) yang mempunyai waktu paruh panjang lepas ke lingkungan, sehingga diperlukan analisis khusus terhadap konsekuensinya terhadap populasi^[2]. Kecelakaan di Chernobyl PLTN adalah kecelakaan radiasi paling serius dalam sejarah generasi energi nuklir. Tingkat kontaminasi tinggi lahan pertanian, hutan dan pemukiman dengan radionuklida berumur panjang mendikte kebutuhan untuk memastikan keselamatan radiasi penduduk dalam jangka panjang setelah kecelakaan itu. Konsumsi pertanian dan hutan produk dengan konsentrasi aktivitas Cs-137 tinggi adalah dan saat ini tetap menjadi salah satu jalur paparan besar bagi penduduk daerah yang terkena dampak. Paparan radiasi ke manusia selain ditentukan oleh mekanisme deposisi juga oleh interaksi kompleks antara faktor-faktor yang berbeda seperti deposisi kering atau basah, berbagai jenis permukaan tanah, sifat kimia radionuklida yang terlibat dan pengembangan bangunan serta ketergantungan pada desain konstruksi dan geometri^[6,7]. Dalam lingkungan pertanian dosis konsumsi dari Cs-137 lebih tinggi untuk orang dewasa dibandingkan kelompok usia lainnya, sedangkan untuk Sr-90 dan I-131, dosis konsumsi tertinggi untuk bayi. Ketergantungan sensitivitas pada faktor-faktor sosial dan ekonomi seperti kebiasaan individu yang hidup, preferensi konsumsi pangan, dan praktek-praktek pertanian. Iklim, geografis, ekosistem, gaya hidup dan perbedaan kebiasaan diet, serta kondisi ekonomi dan

sosial, dapat mempengaruhi transfer radionuklida melalui rantai makanan dan dosis untuk populasi manusia^[8]. Penentuan konsekuensi dan risiko berdasarkan tipe tapak kota (urban) atau desa akan memudahkan untuk review penentuan tanggap darurat dan mitigasi dampak dari lepasan zat radioaktif (ZRA) di tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)^[9,10].

Tujuan penelitian ini adalah analisis aktivitas dan konsekuensi radionuklida dengan waktu paruh panjang akibat kecelakaan di daerah perkotaan dan pedesaan. Tujuan khusus adalah untuk menguji dan meningkatkan prediksi laju dosis, dosis kumulatif, dan risiko yang ditimbulkan untuk daerah perkotaan dan pedesaan, termasuk prediksi perubahan konsentrasi radionuklida atau laju dosis sebagai fungsi lokasi dan waktu.

2. METODOLOGI

Perhitungan aktivitas radiasi, konsekuensi, dan risiko menggunakan Modul ATMOS untuk aktivitas dispersi, LATDOS dan LATRISK untuk menghitung dosis individu dan risiko kesehatan jangka panjang, sedangkan untuk jangka pendek dihitung dengan modul EARLY. Perhitungan ini memerlukan input data sebagai berikut: *source term*, data meteorologi dari Stasiun Serang tahun 2011 untuk kecepatan angin, stabilitas, solar radiasi, dan curah hujan, dalam satu tahun yang didata untuk setiap jam untuk tapak Bojonegara. Data meteorologi sudah melalui uji konsistensi dan homogenitas sehingga bisa langsung digunakan. *Source term* digunakan dalam kondisi postulasi kecelakaan *Beyond Design Basis Accident*, BDBA^[11,12]. Kondisi tapak menggunakan dua model yaitu model dengan tapak yang landai dan pedesaan (*rural*), serta model tapak berupa bangunan tinggi, hutan, perbukitan dan pemukiman urban. Beberapa kondisi kontur menggunakan model asumsi. Perhitungan dispersi mengikuti persamaan Gaussian yang sudah tersegmentasi dan dapat dijalankan pada program PC Cosyma^[13]. Model penelitian terdapat pada Gambar 1.



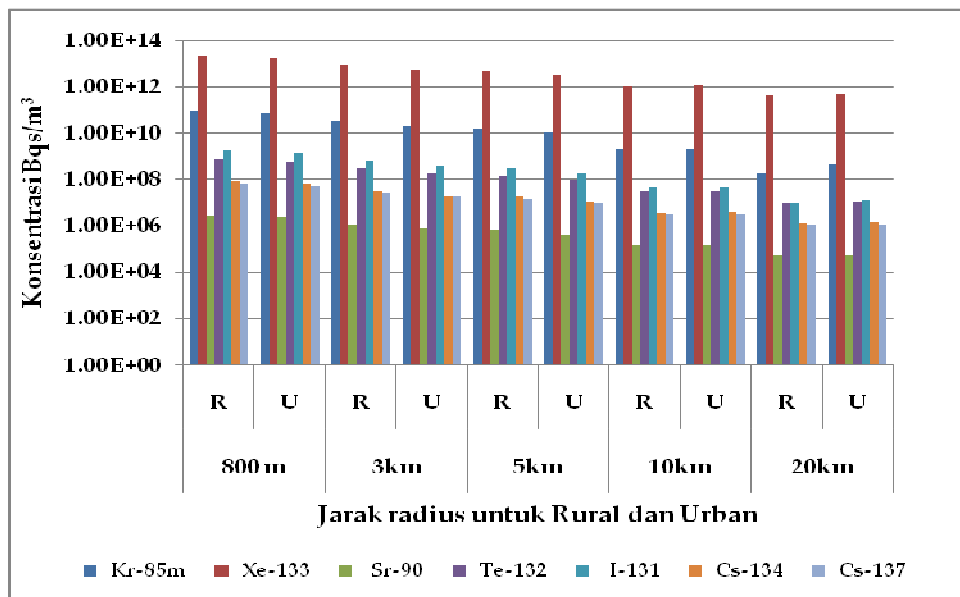
Gambar 1. Model Perhitungan Aktivitas Radiasi, Konsekuensi dan Risiko.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

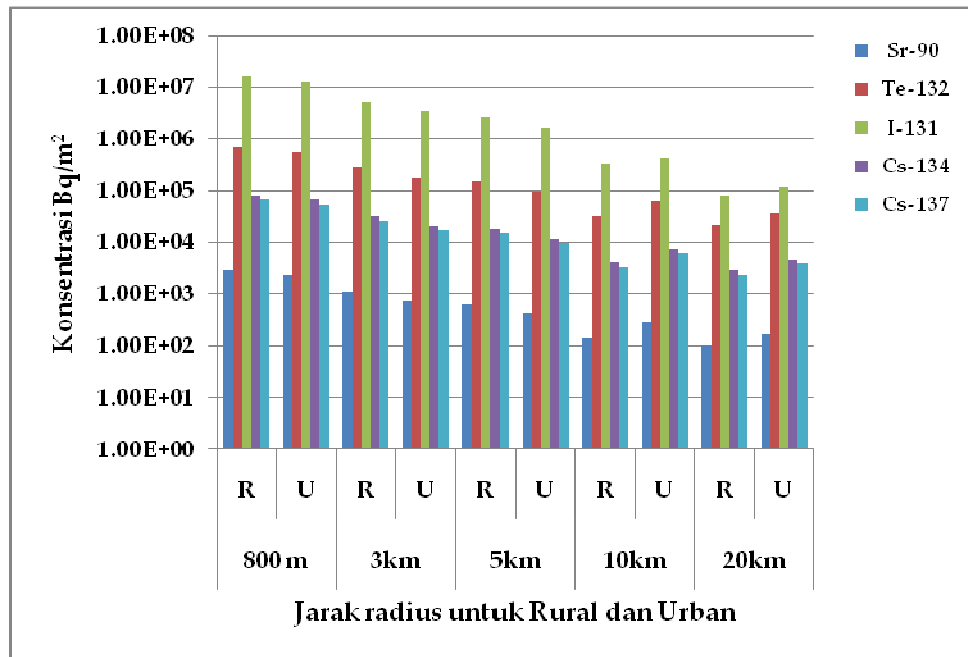
Hasil perhitungan konsentrasi udara (dispersi atmosfer) ditampilkan pada Gambar 2, perhitungan konsentrasi permukaan (deposisi permukaan) pada Gambar 3, total risiko jangka panjang pada Gambar 4, dan dosis individu per-organ pada Tabel 1. Gambar 2 menjelaskan tentang konsentrasi udara untuk nuklida Kr-85 m, Xe-133m, Sr-90, Te-132, I-131, Cs-134, dan Cs-137. Semua perhitungan dilakukan untuk *sourceterm* dan tapak yang sama dan disimulasikan untuk dua model kontur tapak yaitu untuk tapak perkotaan dan pedesaan.

Konsentrasi udara dari Gambar 2 secara umum menunjukkan berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber lepasan, dan konsentrasi untuk daerah pedesaan (*rural*) lebih tinggi dibandingkan daerah urban (perkotaan). Daerah rural dalam penelitian digolongkan untuk daerah pedesaan dengan kondisi kontur landai, dan daerah urban (perkotaan) didefinisikan untuk kontur terjal dengan banyak bangunan tinggi dan atau hutan pepohonan tinggi. Dispersi atmosfer kondisi kontur untuk daerah rural didominasi oleh dispersi ke arah sejajar dengan lepasan (arah x), sehingga dispersi yang terjadi tanpa penghalang dan untuk setiap jarak radius akan menghasilkan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontur yang terhalang bangunan dan pepohonan. Karena berkurangnya penghalang, maka dispersi atmosfer hanya bergantung terhadap besarnya *sourceterm*, stabilitas cuaca, curah hujan dan kecepatan angin. Konsentrasi dispersi udara maksimum untuk gas mulia Kr-85m adalah $8,99 \times 10^{10}$ Bq-s/m³, nuklida lainnya maksimum untuk I-131 adalah $1,73 \times 10^9$ Bq-s/m³, untuk jarak radius daerah eksklusi 800 m di area rural. Aktivitas radioaktif udara akan berpengaruh terhadap penerimaan dosis interna dan eksterna lewat *pathway cloudshine*.

Sejalan dengan dispersi udara, dari Gambar 3 terlihat bahwa konsentrasi deposisi di permukaan untuk kontur area rural lebih tinggi dibandingkan deposisi permukaan di area urban. Hal ini bisa dijelaskan untuk kondisi cuaca sama, maka deposisi radionuklida sebanding dengan kondisi trend dispersi udara. Konsentrasi maksimum I-131 adalah $1,57 \times 10^7$ Bq/m².



Gambar 2. Konsentrasi Udara vs Jarak Radius (Km)
di Daerah Rural dan Urban.



Gambar 3. Konsentrasi Permukaan Tanah vs Jarak Radius (Km) di Daerah Rural dan Urban.

Aktivitas radiasi dari proses deposisi di permukaan tanah berpengaruh terhadap penerimaan dosis interna dan eksterna ke masyarakat dari *pathway groundshine*. Nuklida terdeposisi yang berpengaruh adalah dari I-131, Sr-90, Te-132, Cs-134 dan Cs-137. Jalur paparan yang terpengaruh adalah *ingestion* melalui rantai makanan. Deposisi radionuklida untuk area *rural* dipengaruhi oleh banyak faktor seperti sifat dan perilaku nuklida, karakteristik deposisi, tanah dan kondisi iklim dan manajemen produksi pertanian. Aktivitas deposisi untuk daerah urban selain dipengaruhi oleh sifat dan perilaku nuklida, karakteristik deposisi, tanah dan kondisi iklim, juga kondisi bangunan, serta limpasan air hujan dan limbah.

Tabel 1. Dosis Individu untuk Setiap Organ Tubuh (Sv)

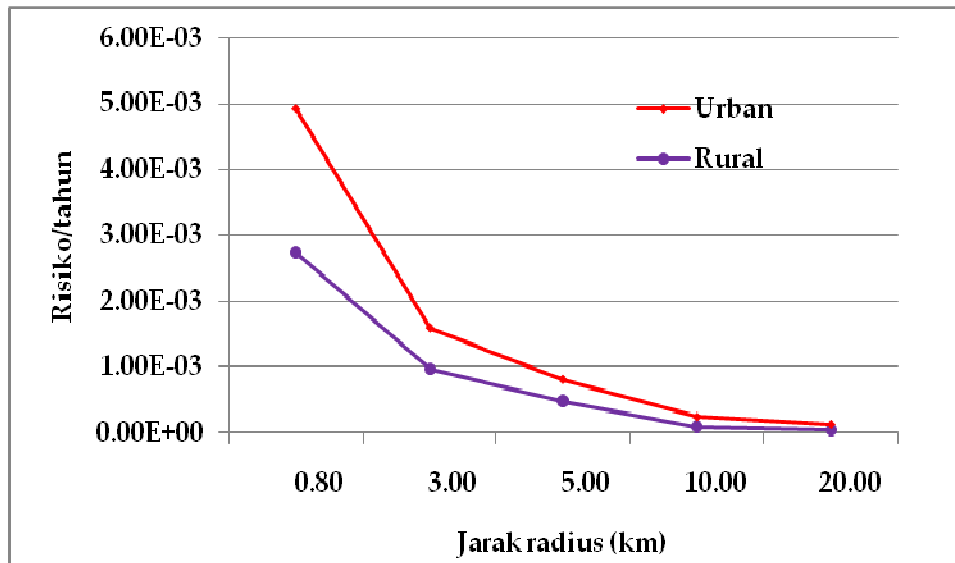
Jarak (km)	Efektif		Thyroid		Eye Lens		Ovaries	
	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural
0.80	$5,14 \times 10^{-2}$	$9,24 \times 10^{-2}$	$5,95 \times 10^{-2}$	$1,07 \times 10^{-1}$	$6,84 \times 10^{-2}$	$1,19 \times 10^{-1}$	$3,27 \times 10^{-2}$	$6,10 \times 10^{-2}$
3.00	$2,57 \times 10^{-2}$	$2,65 \times 10^{-2}$	$2,99 \times 10^{-2}$	$3,08 \times 10^{-2}$	$3,29 \times 10^{-2}$	$3,35 \times 10^{-2}$	$1,66 \times 10^{-2}$	$1,72 \times 10^{-2}$
5.00	$1,06 \times 10^{-2}$	$8,33 \times 10^{-2}$	$1,23 \times 10^{-2}$	$9,66 \times 10^{-2}$	$1,37 \times 10^{-2}$	$1,07 \times 10^{-1}$	$7,01 \times 10^{-3}$	$5,46 \times 10^{-2}$
10.00	$8,57 \times 10^{-3}$	$1,08 \times 10^{-3}$	$1,33 \times 10^{-3}$	$1,74 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-3}$	$1,33 \times 10^{-3}$	$5,42 \times 10^{-3}$	$6,87 \times 10^{-3}$
20.00	$1,13 \times 10^{-3}$	$1,17 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^{-3}$	$1,44 \times 10^{-3}$	$1,48 \times 10^{-3}$	$7,13 \times 10^{-3}$	$7,50 \times 10^{-3}$
Jarak (km)	Skin		Lung		Bone Marrow		GI-Tract	
	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural	Urban	Rural
0.80	$1,98 \times 10^{-3}$	$2,92 \times 10^{-2}$	$5,02 \times 10^{-2}$	$9,20 \times 10^{-2}$	$3,77 \times 10^{-2}$	$7,04 \times 10^{-2}$	$3,74 \times 10^{-2}$	$6,96 \times 10^{-2}$
3.00	$2,95 \times 10^{-2}$	$3,70 \times 10^{-2}$	$2,65 \times 10^{-4}$	$2,75 \times 10^{-2}$	$1,91 \times 10^{-4}$	$1,98 \times 10^{-2}$	$1,96 \times 10^{-4}$	$2,04 \times 10^{-2}$
5.00	$6,17 \times 10^{-3}$	$7,43 \times 10^{-2}$	$1,07 \times 10^{-2}$	$8,45 \times 10^{-2}$	$8,08 \times 10^{-3}$	$6,30 \times 10^{-2}$	$8,04 \times 10^{-3}$	$6,34 \times 10^{-2}$
10.00	$1,53 \times 10^{-3}$	$2,13 \times 10^{-3}$	$8,81 \times 10^{-3}$	$1,12 \times 10^{-3}$	$6,23 \times 10^{-3}$	$7,90 \times 10^{-3}$	$6,50 \times 10^{-3}$	$8,25 \times 10^{-3}$
20.00	$3,27 \times 10^{-3}$	$3,65 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-3}$	$1,19 \times 10^{-3}$	$8,19 \times 10^{-3}$	$8,62 \times 10^{-3}$	$8,49 \times 10^{-3}$	$8,85 \times 10^{-3}$

Secara umum dari Tabel 1 terlihat bahwa penerimaan dosis individu efektif maupun untuk setiap organ untuk area perkotaan (urban) lebih besar dibandingkan area pedesaan (*rural*). Kecenderungan umum penerimaan dosis individu menurun dengan bertambahnya jarak radius. Dosis individu efektif maksimum untuk area pedesaan (*rural*) adalah $9,24 \times 10^{-2}$ Sv, dosis tyroid $1,07 \times 10^{-1}$ Sv, lensa mata dengan dosis $1,19 \times 10^{-1}$ Sv, ovarium $6,10 \times 10^{-2}$ Sv, dosis kulit $2,92 \times 10^{-2}$ Sv, paru-paru dengan dosis $9,20 \times 10^{-2}$ Sv, sumsum tulang $7,04 \times 10^{-2}$ Sv, dan tenggorokan dosisnya $6,96 \times 10^{-2}$ Sv. Dosis individu efektif maksimum untuk area perkotaan (urban) adalah $5,14 \times 10^{-2}$ Sv, dosis tyroid $5,95 \times 10^{-2}$ Sv, lensa mata dengan dosis $6,84 \times 10^{-2}$ Sv, ovarium $3,27 \times 10^{-2}$ Sv, dosis kulit $1,98 \times 10^{-3}$ Sv, paru-paru dengan dosis $5,02 \times 10^{-2}$ Sv, sumsum tulang $3,77 \times 10^{-2}$ Sv, dan tenggorokan dosisnya $3,74 \times 10^{-2}$ Sv. Dosis maksimum diterima masyarakat pada jarak radius 800 m dari reaktor.

Berdasarkan data hasil analisis pada Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa penerimaan dosis untuk masyarakat yang berdomisili di area perkotaan berbeda dengan pedesaan. Hal ini berkaitan dengan pola *pathway* nuklida ke manusia. Untuk area pedesaan mekanisme *pathway* lebih dipengaruhi oleh penerimaan langsung yaitu lewat eksterna, karena area pedesaan dimodelkan sedikit penghalang dibandingkan area perkotaan yang dimodelkan mempunyai penghalang bangunan tinggi. Bangunan tinggi akan mengurangi paparan langsung dan penerimaan dosis jangka pendek. Terlihat dosis untuk kulit yaitu paparan langsung untuk area pedesaan jauh lebih tinggi dibandingkan di area perkotaan. Penerimaan dosis jangka pendek berkaitan dari paparan dispersi udara, sedangkan penerimaan dosis jangka panjang berkaitan dengan aktivitas deposisi.

Penerimaan dosis di area perkotaan selain diterima dari *pathway cloudshine*, juga lebih dipengaruhi oleh *pathway groundshine* hasil deposisi permukaan. Penerimaan dosis selain dari deposisi langsung ke permukaan tanah, juga berasal dari limpasan deposisi dari bangunan dan pepohonan, sehingga terjadi proses akumulasi dari nuklida yang mempunyai waktu paruh panjang. Karena proses pencucian nuklida yang terdeposisi di bangunan gedung di daerah urban dan yang tertunda akan dipercepat oleh hujan, maka terjadi model penerimaan dosis jangka panjang. Aktivitas deposisi air tanah bergantung pada kecepatan deposisi di permukaan, sehingga aktivitas dan model sebaran ke air tanah mengikuti model deposisi permukaan tanah. Penerimaan dosis dari sebaran nuklida di air tanah untuk daerah urban juga cenderung dari nuklida yang mempunyai waktu paro panjang. Daerah pedesaan lebih cenderung akan memperoleh model dosis jangka pendek, dan area perkotaan akan menerima model dosis jangka panjang. Karena adanya perbedaan model penerimaan dosis akan berpengaruh terhadap tanggap darurat yang harus diambil.

Untuk area pedesaan lebih banyak mendapatkan tanggap darurat jangka pendek (*shortterm countermeasure*) yang meliputi pemberian tablet iodine, *sheltering*, dan evakuasi. Sedangkan untuk area perkotaan (urban) cenderung mendapatkan tanggap darurat jangka panjang (*longterm countermeasure*) yang meliputi dekontaminasi area dan bangunan, evakuasi, dan pembatasan konsumsi makanan. Perlu juga diperhatikan dalam penerimaan dosis kolektif, karena umumnya daerah perkotaan mempunyai tingkat kepadatan penduduk yang lebih tinggi dibandingkan dengan area pedesaan. Selain itu karena dosis yang digunakan untuk perhitungan dosis kolektif mencakup penerimaan dosis jangka panjang, maka besarnya dosis kolektif di area perkotaan cenderung lebih tinggi dibandingkan area pedesaan.



Gambar 4. Risiko Total vs Jarak Radius (Km) di Daerah Urban dan Rural.

Risiko yang diterima akibat dampak lepasan radioaktif ke lingkungan pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa risiko total yang diterima oleh masyarakat menurun dengan bertambahnya jarak radius dari pusat sebaran. Masyarakat yang berdomisili di area perkotaan (urban) cenderung menerima risiko lebih besar dibandingkan dengan masyarakat yang berdomisili di area pedesaan (*rural*). Hal ini berkaitan perhitungan risiko melibatkan penerimaan dosis jangka panjang, seperti penjelasan sebelumnya penerimaan dosis untuk area urban lebih dipengaruhi oleh dosis jangka panjang. Risiko total meliputi risiko terjadinya kanker untuk organ sumsum tulang, perut, usus, liver, pankreas, tyroid, kulit, dan lainnya.

4. KESIMPULAN

Secara umum aktivitas dispersi dan deposisi menurun dengan bertambahnya jarak radius dari reaktor. Analisis aktivitas dan konsekuensi dispersi radioaktif untuk daerah kota dan pedesaan menunjukkan bahwa aktivitas dispersi udara dan deposisi permukaan untuk daerah pedesaan (*rural*) lebih tinggi dibandingkan daerah perkotaan (urban). Penerimaan dosis untuk area pedesaan lebih tinggi dibandingkan dengan penerimaan dosis area perkotaan. Dosis individu efektif maksimum untuk area pedesaan (*rural*) adalah $9,24 \times 10^{-2}$ Sv dan daerah perkotaan (urban) adalah $5,14 \times 10^{-2}$ Sv. Risiko total terkena kanker untuk masyarakat yang berdomisili di area perkotaan (urban) lebih tinggi dibandingkan area pedesaan (*rural*). Risiko total maksimum pada daerah perkotaan (urban) adalah $5,02 \times 10^{-3}$ risiko/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SHAW, P., CROÛAIL, P., "ALARA in Existing Exposure Situations", 14th European ALARA Network Workshop, J. Radiol. Prot. p.33, 487–490, 2013.
- [2]. GONZALEZ, A. J., et al, "Radiological Protection Issues Arising During and After the Fukushima Nuclear Reactor Accident", J. Radiol. Prot. p.33, 497–571, 2013.
- [3]. KASPER, G. A, "Radioactive Contamination in Urban Areas", Journal of Environmental Radioactivity p.85, 151-153, 2006.

- [4]. UDIYANI, P.M, and WIDODO, S., "Penentuan koefisien dispersi atmosferik untuk analisis kecelakaan reaktor PWR di Indonesia", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Tri Dasa Mega, Volume 14, No. 2, 2012.
- [5]. THIESSEN, K.M, et al., "Modelling remediation options for urban contaminationsituations", Journal of Environmental Radioactivity p.100, 564–573, 2009.
- [6]. FESENKO, S., "Justification of Remediation Strategies in the Long Term after the Chernobyl Accident", Journal of Environmental Radioactivity p.119, 39-47, 2013.
- [7]. URSO,L. et al., "Modeling of the Fate Of Radionuclides in Urban Sewer Systems After Contamination Due to Nuclear or Radiological Incidents", Journal of Environmental Radioactivity p.118, 121-127, 2013.
- [8]. TRACY, B.L. et al., "The Sensitivity of Different Environments to Radioactive Contamination" Journal of Environmental Radioactivity p.122, 1-8, 2013.
- [9]. FRENCH, et.al., "The Early Phase of a Radiation Accident: Revisiting Thinking on Evacuation and Exclusion Zones", Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference – Baden-Baden, Germany, p.296-298, May 2013.
- [10]. RASKOB, W., et.al., " Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies" Towards a EU approach for decision support tools, Nuclear Engineering and Design 241, p.3395– 3402, 2011.
- [11]. UDIYANI, P.M., KUNTJORO, S., TJAHYANI, DTS,"PSA Level 3 dan Implementasinya pada Kajian Keselamatan PWR", TRI DASA MEGA-Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir 16 (1), p.35-38, 2014.
- [12]. UDIYANI, P.M., KUNTJORO, S., "Penentuan Zona Kedaruratan Nuklir Luar Tapak (off-site) di Indonesia", Journal of Waste Management Technology 17 (2), p.24-28, 2013.
- [13]. PETR, P., and PECHOVA, E., "An Unconventional Adaptation of a Classical Gaussian Plume Dispersion Scheme for the Fast Assessment of External Irradiation from a Radioactive Cloud", Atmospheric Environment 89, p.298-308, 2014.